Août 2008 Série technique 08-107

Incidence de l'orientation du treillis et des ballots sur la résistance des murs en ballots de paille

INTRODUCTION

Depuis le milieu des années 1990, la construction en ballots de paille connaît un regain de popularité. Bien que des exemples réels de maisons en ballots de paille montrent que ce type de mur affiche une performance conforme à l'esprit des codes du bâtiment au Canada, il n'existe aucun code ou norme visant ce mode de construction. Les propriétaires éventuels de maisons en ballots de paille, les concepteurs et les constructeurs doivent s'en remettre à des essais à petite échelle menés un peu partout dans le monde selon différentes normes pour prendre des décisions en matière de conception et d'ingénierie sur les méthodes de construction de ces murs.

On peut mettre en œuvre de nombreuses approches pour la construction de murs en ballots de paille. Les ballots peuvent se poser de deux différentes façons dans un mur (à plat ou sur le côté); différents types de composés de plâtre s'utilisent (à base de ciment ou à base d'argile); différentes méthodes sont utilisées pour permettre au plâtre d'adhérer au mur de ballots de paille (paille, treillis ou coulis d'argile); et différents modèles de poutre peuvent être réalisés sur le sommet du mur pour fixer le toit et transmettre les charges aux ballots de paille.

L'étude dont il est question ici, financée aux termes du Programme de subventions de recherche de la SCHL, établit une comparaison entre de nombreux exemples de murs à échelle réelle construits selon les différentes variables ci-dessus dans le dessin de quantifier la performance des différentes compositions de mur.

Pour réaliser l'étude, les chercheurs ont mis en œuvre une formule minimaliste de manière à établir une performance de référence de bas niveau au lieu de surconstruire les échantillons pour obtenir le meilleur résultat possible. Les propriétaires et les constructeurs arrêtent souvent leur choix sur les murs en ballots de paille afin de réduire la quantité de matériaux utilisée et l'impact du bâtiment sur l'environnement, ce qui fait que pour les échantillons, on a réduit au minimum l'emploi de bois d'œuvre et de plâtre.

PROGRAMME

L'étude avait pour objectif :

- d'avoir recours à une poutre légère pour chacun des échantillons de mur afin de limiter l'effet de résistance de la poutre sur la résistance globale du mur en ballots de paille;
- de mettre sous charge la poutre de manière à ce qu'elle reflète avec précision la manière dont les surcharges du toit sont réparties sur le mur;
- de comparer les murs dont les ballots sont posés à plat par rapport à ceux qui sont empilés sur le côté;
- d'établir une comparaison entre les murs dont les ballots sont revêtus de plâtre de ciment-chaux et ceux revêtus d'un plâtre d'argile;
- de comparer les murs dont le plâtre est appliqué directement sur la paille à ceux dont le plâtre est appliqué sur un treillis ou un coulis d'argile.

La méthode de construction employée a été la même pour tous les échantillons de mur, et les chercheurs n'ont mis à l'essai qu'un seul échantillon de chaque type d'agencement de mur. Tous les murs ont été construits au moyen de ballots de paille de blé, retenus à l'aide de deux cordes. Les ballots se présentaient en taille et en densité que l'on considérerait comme normales ou plus faible que la normale.

Chaque mur a été construit de façon à permettre à ce que les surcharges en compression puissent être transmises directement aux enduits de plâtre des ballots et pour veiller à ce que les enduits de plâtre soient soutenus de la même manière que s'ils s'appuyaient directement sur les fondations d'un bâtiment.

Canada

SCHL CMHC
AU CŒUR DE L'HABITATION

Une poutre en échelle a été utilisée sur le dessus du mur, laquelle était composée de deux longerons en 2 po x 4 po (38 x 89 mm) espacés à l'aide de cales de 2 x 4 po à entraxe de 24 po (600 mm) et d'un contreplaqué de $^1/_2$ po d'épaisseur (12 mm) sur le fond. Cette poutre à caisson était plus petite et plus légère que les poutres à caisson habituellement utilisées, qui consistent le plus souvent en poutres à caisson composées de 2 x 6 po ou de 2 x 8 po.

Les poutres à caisson étaient 2 po (50 mm) plus larges que les ballots. Une fois les ballots centrés sous cette poutre, ce pouce (25 mm) additionnel de chaque côté servait de moulure d'arrêt pour le plâtre et permettait à la poutre de transmettre les surcharges directement à l'enduit de plâtre.

Tous les murs mesuraient 2,4 m (8 pi) de hauteur, comme c'est le cas de la plupart des maisons. Lorsque les ballots étaient posés à plat, il en faillait six rangées pour arriver à une hauteur de 2,4 m; dans le cas des ballots posés sur le côté, il fallait cinq rangées de ballots pour arriver à une hauteur de 2,3 m. Chaque mur mesurait 2,4 m de longueur, avec deux ballots par rangée posés en appareil en panneresse.

Deux bandes de nylon ont donné aux murs un minimum de précontrainte avant la pose du plâtre. Bien que la force en traction impartie aux bandes n'ait pas été mesurée, elle est minimale comparativement aux pratiques courantes. La force en traction a été appliquée une seule fois par bande et on ne les a pas serrées davantage.

Les ballots n'ont pas été taillés avant la pose du plâtre et les vides entre les ballots n'ont pas été systématiquement colmatés, en raison des contraintes de temps et d'espace, qui sont habituelles en construction.

Le plâtre à base de ciment et de chaux consistait en une partie de ciment à maçonnerie de type N de marque Le choix du maçon de Ciment St-Laurent, en trois parties de sable à maçonnerie fin tamisé et de suffisamment d'eau pour produire un mélange maniable. Ce plâtre a été appliqué en deux couches à l'aide d'une truelle en acier, avec des rayures mécaniques pratiquées sur la première couche avant l'application de la deuxième couche.

Le plâtre d'argile était composé d'une partie de la Turface Mound Clay de Mar-Coût. de trois parties de sable à maçonnerie fin tamisé et d'une certaine quantité de paille de blé non coupée recueillie sur le plancher après le découpage, une fois les ballots attachés de nouveau. De l'eau de gâchage propre a été ajoutée pour rendre le mélange maniable. Ce plâtre a été appliqué à la main en deux couches.

Des ensembles de trois cubes de 50 mm (2 po) de chaque mélange de plâtre ont été soumis à l'essai selon la norme ASTM C109 (1998) afin de mesurer leur résistance en compression.

Le treillis utilisé pour les murs qui en étaient dotés était de marque Tenax Cintoflex D, un treillis en polypropylène utilisé couramment par les constructeurs de maisons en ballots de paille. Ce treillis est pourvu d'ouvertures rectangulaires de 25 mm (1 po) sur 40 mm (1,5 po). Le treillis est taillé suivant les dimensions du mur et agrafé à la poutre à caisson et à la lisse basse avant d'être fixé au mur à l'aide de corde à balle qui traverse d'un côté à l'autre du mur.

Sur les murs à coulis d'argile, on a appliqué un mélange d'argile et d'eau sur la paille avant d'empiler les ballots. Pour ce faire, on immerge habituellement les ballots dans le coulis d'argile liquide ou le coulis est appliqué sur les ballots au moyen d'une pompe.

Les murs ainsi construits ont été mûris pour environ 30 jours à l'intérieur du laboratoire à une température constante de 20 °C (68 °F). Ils ont ensuite été soumis à une charge en compression sous un portique de chargement en acier. Un piston hydraulique mobile monté sur le portique a servi à appliquer une charge en compression sur les murs par l'intermédiaire d'une plaque de chargement en acier spécialement conçue. De petites sections d'acier tubulaires ont été soudées à la sous-face de la plaque de chargement à entraxe de 600 mm (2 pi) afin de simuler le transfert de charges de toit sur la poutre à caisson. Chaque essai a fait l'objet d'un suivi à l'aide d'un dynamomètre piézoélectrique et d'un transducteur de tension linéaire à déplacement pour mesurer les flèches verticales et latérales.

RÉSULTATS

Les 10 murs ont été mis à l'essai jusqu'à la rupture, à l'exception d'un échantillon qui a atteint la capacité maximale du dynamomètre piézoélectrique sans défaillance. Chacun des murs a répondu aux charges en compression de manière semblable. Une faible flèche était enregistrée immédiatement à mesure que la plaque du haut entrait en contact avec les enduits de plâtre, qui s'étaient retirés de la poutre lors du mûrissage. Par la suite, le mur qui recevait la charge affichait une réponse linéaire jusqu'à la charge ultime. Une fois la charge ultime atteinte, chacun des murs a affiché une hausse rapide dans la flèche et une perte de charge à mesure que le plâtre se fissurait.

Les murs dont les ballots avaient été empilés à plat avaient tendance à se rompre par écrasement vertical avec peu de flexion latérale. Les murs dont les ballots avaient été empilés sur le côté se rompaient plutôt par fléchissement latéral et flambement. La rupture était habituellement précédée d'une fissuration étendue du plâtre et accompagnée du délaminage du plâtre de la surface en paille.

Deux types de comportement après défaillance ont été observés, selon le type de plâtre employé : plâtre de ciment et chaux ou d'argile. Dans le cas des murs de plâtre de ciment-chaux, la charge maximale a été suivie d'une rapide diminution de la charge supportée. Dans le cas des murs à plâtre d'argile, la diminution de la charge après rupture a été beaucoup moins dramatique.

À la suite de la défaillance du plâtre, la plus grande proportion de résistance du mur était fournie par les ballots de paille, lesquelles peuvent soutenir environ 40 kN (9 000 lb) lorsque les ballots sont placés à plat et 20 kN (environ 4 500 lb) lorsque les ballots sont empilés sur le côté. Aucun des murs n'a fait défaillance de manière catastrophique et, après rupture, les murs restaient en place et présentaient une résistance considérable.

CONCLUSIONS

Voici les conclusions que les chercheurs ont formulées à la suite des travaux de recherche :

- Les ballots de paille à plâtre de ciment-chaux affichent une résistance moyenne ultime de 3,3 MPa (480 lb/po^2) dans une fourchette allant de 1,9 à 5,6 MPa (280 à 810 lb/po^2).
- Les ballots de paille à plâtre d'argile présentent une résistance moyenne ultime de 0,5 MPa (73 lb/po^2) dans une fourchette allant de 0,3 à 1 MPa (44 à 150 lb/po^2).
- La résistance mesurée des murs à plâtre de ciment-chaux varie de 8 à 18 % de la résistance théorique fondée sur la résistance des cubes de plâtre et l'épaisseur nominale du plâtre sur le mur. La faible résistance de ces murs comparativement à la valeur théorique semble être liée au flambage local du plâtre très rigide.
- La résistance mesurée des murs enduits de plâtre d'argile varie de 50 à 102 % de la résistance théorique.
- L'orientation des ballots a peu d'incidence sur la résistance en compression du mur en présence de plâtre de ciment-chaux.
- Les murs dont les ballots sont empilés à plat présentent une résistance qui est 56 % plus élevée que les murs à ballots posés sur le côté en présence de plâtre d'argile.
- Un treillis n'améliore en rien la résistance en compression des murs en ballots de paille enduits de plâtre de ciment-chaux, et en fait, leur résistance peut s'amoindrir si le treillis a une incidence sur le liaisonnement plâtre-paille, ce qui pourrait mener à un flambage prématuré du plâtre localement. Le treillis permet toutefois de renforcer l'enduit à l'emplacement des fissures qui se forment après la rupture du mur en compression, ce qui permet au mur de subir des flèches latérales importantes sans qu'il s'effondre.
- Le coulis d'argile n'améliore pas la résistance en compression des ballots de paille enduits de plâtre d'argile.
- En raison de la grande variation de l'épaisseur du plâtre lorsque celui-ci est appliqué manuellement, le plâtre n'est pas mis en œuvre efficacement du point de vue de la structure.

CONSÉQUENCES POUR LE SECTEUR DU LOGEMENT

Les résultats des essais donnent aux concepteurs et aux constructeurs de bonnes lignes de conduite générales visant les murs en ballots de paille. Ils mènent également à d'importantes conclusions : le besoin de recherches plus poussées dans certains domaines et la nécessité de mettre à l'essai un plus grand nombre d'échantillons.

La résistance des murs enduits de plâtre de ciment-chaux dont les ballots sont posés à plat ou sur le côté confirme les recherches existantes selon lesquelles ces murs conviennent à titre de murs porteurs dans la plupart des constructions résidentielles, y compris les bâtiments de deux étages.

La résistance des murs et les modes de défaillance indiquent que les couches de plâtre devraient recevoir les surcharges du toit directement et venir s'appuyer pleinement sur les fondations.

Les résistances obtenues par l'entremise d'une poutre à caisson légère en 2 x 4 po indiquent aux concepteurs qu'il n'est pas nécessaire de faire appel à des poutres de plus grandes dimensions lorsque les surcharges sont transmises directement aux couches de plâtre de murs sans ouvertures.

Les résistances de mur obtenues à l'aide de ballots de qualité moyenne à faible montrent que les constructeurs n'ont pas besoin de s'en tenir à des ballots dont le niveau de compaction ou la densité est exceptionnel pour obtenir une résistance en compression convenable.

L'ajout d'un treillis n'améliore pas la résistance en compression. Les constructeurs doivent, dans le cas où l'on pose un treillis pour faciliter la pose du plâtre, veiller à ce que le treillis n'empêche pas le plâtre d'entrer en contact serré avec la paille derrière le treillis. Les murs où le plâtre est uniquement fixé au treillis seront les premiers à faire défaillance.

Le mode de défaillance contrôlé et non catastrophique des murs indique que ceux-ci présentent un facteur de sécurité élevé dans l'éventualité où les charges sont beaucoup plus importantes que prévu.

Les couches de plâtre sur les ballots nus ne sont qu'aussi résistantes que leur épaisseur minimale. Même lorsque l'épaisseur moyenne annonce un certain niveau de résistance ultime, la défaillance se produira là où le plâtre est le plus mince. Les constructeurs doivent porter une attention particulière à l'alignement vertical des ballots et veiller à ce que l'épaisseur minimale prévue de plâtre se retrouve sur la surface entière du mur. Une épaisseur locale excessive ne fait pas augmenter la résistance du mur.

Les faibles valeurs de résistance ultime des murs enduits de plâtre d'argile révèlent qu'il faut davantage de travaux de recherche pour veiller à ce que la résistance et l'épaisseur des plâtres d'argile soient adéquates. La nature variable des plâtres d'argile indique que des échantillons de plâtre d'argile doivent être mis à l'essai comme il se doit avant utilisation afin de leur assurer une résistance adéquate. D'autres études ont produit des plâtres d'argile affichant une résistance beaucoup plus importante que celles observées ici.

La grande variabilité des granulats trouvés habituellement dans les sols des emplacements comparativement à la taille uniforme des particules dans le sable de maçonnerie utilisé pour cette étude pourrait jouer un rôle important au chapitre de la résistance des plâtres d'argile. Des fibres de paille hachées finement pourraient assurer un surplus de résistance comparativement à la longue paille utilisée pour la présente étude.

L'épaisseur des plâtres d'argile est habituellement plus grande que celle réalisée lors des essais actuels, puisqu'elle a tendance à se situer entre 40 et 50 mm (1,5 et 2 po). L'incidence de l'épaisseur du plâtre sur la résistance ultime obtenue dans cette étude indique que l'application d'une couche plus épaisse de plâtre aura une incidence importante sur la résistance du mur.

La conception et la construction des murs en ballots de paille continueront à évoluer. Les pistes de solution mises en lumière par cette étude devraient permettre de renseigner les intervenants et d'améliorer les pratiques courantes.

Directeur de projet : Don Fugler

Bénéficiaire d'une subvention dans le cadre du programme de subventions de recherche : Dr. Colin MacDougall, Queen's University.

Ce projet a été réalisé (ou réalisé en partie) grâce au soutien financier de la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) dans le cadre de son Programme de subventions de recherche, subventions qui sont octroyées au terme d'un concours annuel. Les idées exprimées sont toutefois celles de l'auteur (ou des auteurs) et ne représentent pas la position officielle de la SCHL. Pour en savoir plus sur ce programme, visitez le site Web de la SCHL à **www.schl.ca** ou communiquez avec l'agent de projets, Recherche d'initiative privée, par courriel, à erp@cmhc-schl.gc.ca, ou par la poste à : Agent de projets, Recherche d'initiative privée, Programme de subventions de recherche, Division de la recherche et des politiques, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 700 chemin de Montréal, Ottawa (Ontario) K1A 0P7.

Pour consulter d'autres feuillets *Le Point en recherche* et pour prendre connaissance d'un large éventail de produits d'information, visitez notre site Web au

www.schl.ca

ou communiquez avec la

Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

Téléphone : 1-800-668-2642
Télécopieur : 1-800-245-9274

©2008, Société canadienne d'hypothèques et de logement
Imprimé au Canada
Réalisation : SCHL 19-08-08

Bien que ce produit d'information se fonde sur les connaissances actuelles des experts en habitation, il n'a pour but que d'offrir des renseignements d'ordre général. Les lecteurs assument la responsabilité des mesures ou décisions prises sur la foi des renseignements contenus dans le présent ouvrage. Il revient aux lecteurs de consulter les ressources documentaires pertinentes et les spécialistes du domaine concerné afin de déterminer si, dans leur cas, les renseignements, les matériaux et les techniques sont sécuritaires et conviennent à leurs besoins. La Société canadienne d'hypothèques et de logement se dégage de toute responsabilité relativement aux conséquences résultant de l'utilisation des renseignements, des matériaux et des techniques contenus dans le présent ouvrage.

66136